

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ ЭК-181

Шевяко Н. А.¹

*Руководители – доцент, кандидат ф.-м.н. Астафурова Е.Г.^{1,2},
профессор, доктор ф.-м.н. Тюменцев А.Н.^{1,2}*

¹Томский государственный университет, г. Томск,

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск,
Nadejda89tsk@rambler.ru

Разработанные ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара жаропрочные стали на основе 16X12B2ФТaP (ЭК-181) являются перспективными для использования в активных зонах и внутрикорпусных устройствах современных энергетических установок, так как обладают высоким уровнем радиационной стойкости, быстрым спадом наведенной радиоактивности, хорошими механическими и технологическими свойствами в широком диапазоне температур (300-700°C). Важным параметром, ограничивающим применимость таких сталей, выступает их склонность к низкотемпературному охрупчиванию и рост температуры вязко-хрупкого перехода при радиационных воздействиях.

В работе проведены рентгеноструктурные и электронно-микроскопические исследования микроструктуры образцов стали ЭК-181 с различными температурами хрупко-вязкого перехода (после разных режимов термообработки):

- термообработка 1 (ТО₁) - закалка от температуры 1100°C (выдержка 1 ч., охлаждение на воздухе) с последующим отпуском 720°C (3 ч., охлаждение на воздухе);

- термообработка 2 (ТО₂) - закалка от температуры 1100°C с последующим термоциклированием около критической температуры A_{c1} и отпуском 720°C (1 ч., охлаждение на воздухе), приводящая к снижению температуры хрупко-вязкого перехода.

Химический состав исследуемой стали приведен в таблице 1.

Таблица 1
Химический состав стали ЭК-181 (вес.%, основа Fe)

Cr	Mn	Ni	Cu	W	V	Ti	Zr	Nb	Mo	Si	Ta	Ce	C	N	B
12,00	0,60	0,03	0,01	1,30	0,40	0,05	0,05	<0,01	0,01	0,40	0,15	0,05	0,16	0,07	0,003

Показано, что, независимо от типа обработки, основной составляющей стали является твердый раствор на основе α -железа с параметром решетки $a = 2,874\text{--}2,876 \text{ \AA}$ (таблица 2), свидетельствующим о том, что часть атомов легирующих элементов находится в твердом растворе. По данным рентгенофазового анализа в обоих исследуемых состояниях, помимо α -мартенсита, в структуре стали присутствует небольшая доля ($< 2\%$) карбидов $M_{23}C_6$ ($Mn_{23}C_6$, $Cr_{23}C_6$) и остаточного аустенита γ -Fe. Наблюдается строчечное

распределение карбидов внутри кристаллов мартенсита. Предполагается, что такое распределение связано с образованием частиц второй фазы на малоугловых границах зерен пакетного мартенсита, растворившихся в процессе отжига.

Таблица 2

Параметры структуры и микротвердость стали ЭК-181

Термо- обработка	a, нм	Размеры ОКР, нм	$\Delta d/d$	фазовый состав	H_{μ} , ГПа
ТО ₁	0,2876	120	$4,0 \cdot 10^{-4}$	α -Fe, $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$, $Mn_{23}C_6$), γ -Fe	3,0
ТО ₂	0,2874	>200	$0,9 \cdot 10^{-4}$	α -Fe, $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$, $Mn_{23}C_6$)	2,3

Как видно из таблицы 2, термоциклирование около точки перехода аустенит-мартенсит (способствующее понижению температуры хрупко-вязкого перехода) приводит к четырехкратному снижению параметра микродеформации решетки и уменьшению микротвердости. Электронно-микроскопическое исследование показало, что важной особенностью микроструктуры стали после ТО₁ (структурное состояние с более высоким значением $T_{хв}$) является наличие крапчатого контраста, свидетельствующего о формировании ультрамелкодисперсной карбидной или нитридной фазы. В случае обработки ТО₂ (с термоциклированием) такой особенности не обнаружено. Предполагается, что дисперсное упрочнение стали ЭК-181 наноразмерными частицами после ТО₁ является важным фактором повышения твердости и более высокой температуры хрупко-вязкого перехода.

Автор работы выражает благодарность сотрудникам ВНИИНМ им. А.А. Бочвара М.В. Леонтьевой-Смирновой и В.М. Чернову за предоставленный материал и полезные дискуссии.